



ANÁLISE DO CALOR QUE ATINGE O AÇO NO CASO DE AQUECIMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO METACAULIM COMO AGLOMERANTE

Maíra Vitório Martinho (1), Patrícia Montagna Allem (2);

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1)mairavitorio@hotmail.com, (2)patricia.allem@hotmail.com

RESUMO

O cimento Portland é um grande responsável por emissão de dióxido de carbono (CO₂). Tendo isto em vista, se torna crescente a pesquisa por materiais alternativos para a sua substituição. Um material que vem sendo estudado atualmente é o geopolímero que utiliza metacaulim como aglomerante. Este trabalho busca contribuir nas pesquisas a respeito deste material. Foram moldados seis corpos de prova prismáticos (10x10x35), sendo três de concreto convencional e outros três de geopolímero. Estes corpos de prova foram aquecidos em forno fechado a uma taxa de aquecimento média de 12,80°C/minuto até que o forno atingisse 800°C e esta temperatura então foi mantida durante 30 minutos. O objetivo foi analisar qual dos materiais protege com maior eficácia a armadura das altas temperaturas. Com a análise dos resultados observou-se que até uma temperatura aproximada dos 670°C o geopolímero apresentou melhores resultados, e a partir desta temperatura o concreto convencional à base de cimento Portland foi o material que transferiu menos calor para a armadura.

Palavras chave: Metacaulim, geopolímero, concreto geopolimérico, concreto em altas temperaturas, cimento Portland

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente tem levado pesquisadores a direcionar suas pesquisas seguindo um caminho de redução de emissões gasosas poluentes e redução de gasto energético.

A indústria da construção civil, segundo Borges (2014), contribui significativamente tanto no aspecto de gasto energético como na emissão de poluentes e geração de resíduos.

O cimento Portland, largamente utilizado na fabricação de concreto é um dos principais motivadores destas emissões. Ainda segundo Borges (2014) o Cimento Portland consome cerca de 2% de toda energia global na sua produção e é responsável por 5% da emissão de dióxido de carbono (CO₂) de todo o mundo. Estes dados transformam este material em um grande vilão.

“O concreto [...] foi descoberto no final do século XIX e o seu uso intensificado no século XX, o que o transformou no material mais consumido pela humanidade depois da água.” (HELENE, ANDRADE, 2010 *apud* RABELO, GARCIA 2013, p. 56). Esta crescente preocupação com o meio ambiente vem fomentando a busca por materiais alternativos que apresentem um menor impacto ambiental, mas que ao mesmo tempo possam continuar garantindo as qualidades dos materiais já conhecidos e se possível até mais vantagens do que estes.

Outra situação preocupante é o caso de estruturas sujeitas à altas temperaturas, pois segundo Fernandes (2015) a partir dos 300°C o concreto começa a apresentar perdas consideráveis de resistência mecânica. Situação esta que pode ocorrer em situações industriais – estruturas próximas à fornos, por exemplo – e incêndios.

Tendo isto em vista este trabalho apresenta estudos tendo o uso de uma pozolana artificial - o metacaulim - como aglomerante em estruturas de concreto armado em substituição ao tradicional cimento Portland, em situação de altas temperaturas.

Este tipo de estrutura, que utiliza uma pozolana como aglomerante, é conhecido como concreto geopolimérico. Segundo Davidovits (2015) geopolímeros podem ser considerados um novo material, um novo cimento para o concreto, o qual pode ser aplicado como material resistente ao fogo.

“O metacaulim é um material amorfo, obtido por processo industrial de ativação térmica entre 600°C e 850°C e moagem de argilas cauliníticas e caulins.” (MEDINA, 2011, pg. 1).

O metacaulim se enquadra na categoria que a NBR 12653/1992 classifica como Pozolanas Artificiais, grupo este que tem como definição “Materiais resultantes de processos industriais ou provenientes de tratamento térmico com atividade pozolânica.”

Em seus estudos, Allem (2016, pg. 14) faz a seguinte afirmação:

Geopolímeros [...] são argilas de estrutura amorfa. Este material cura rapidamente em temperatura ambiente, atingindo sua resistência mecânica e resistência ao fogo. Devido a estas propriedades, este material se torna um forte substituto ao cimento Portland na construção de estruturas.

Segundo Medina (2011, pág. 1) “o uso de adições pozolânicas na composição de material cimentício tem como um de seus objetivos diminuir a extração de matéria prima para a produção do cimento Portland, reduzindo a emissão de gás carbônico para a atmosfera.”

De acordo com Allem (2016), a utilização de metacaulim reduz o tamanho dos poros na pasta cimentícia e transforma partículas finas em poros descontínuos, o que traz como consequência da redução da permeabilidade do concreto substancialmente além de aumentar a resistência a flexão e compressão, reduz permeabilidade à água e eflorescência. O metacaulim também reduz o calor de hidratação controlando melhor a fissuração.

Para este trabalho foram moldadas seis vigas, sendo três delas de concreto geopolimérico à base de metacaulim e as outras três de concreto de cimento Portland, ambas em formato prismático, com dimensões de 10x10x35 (largura x altura x profundidade) para verificação do calor que atinge o aço em caso de aquecimento das estruturas e estabelecer um comparativo entre ambas.

Segundo Medina (2011, pg.1) “a crescente disponibilidade de metacaulim evidencia a necessidade de crescer conhecimento sobre esta pozolana, de forma a viabilizar, por exemplo, usos de maiores teores como substituição ao cimento Portland.” Sendo assim este trabalho pretende apresentar resultados de substituição total do cimento Portland por metacaulim.

Espera-se que a estrutura de metacaulim apresente resultados mais favoráveis do que as estruturas de cimento Portland, levando em consideração que em seu trabalho, Allem (2016) cita como uma das vantagens do concreto geopolimérico a alta resistência ao fogo.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a proteção do cobrimento do concreto geopolimérico frente ao calor que atinge o aço em vigas de concreto armado, utilizando metacaulim como aglomerante, quando sujeitas à alta temperatura.

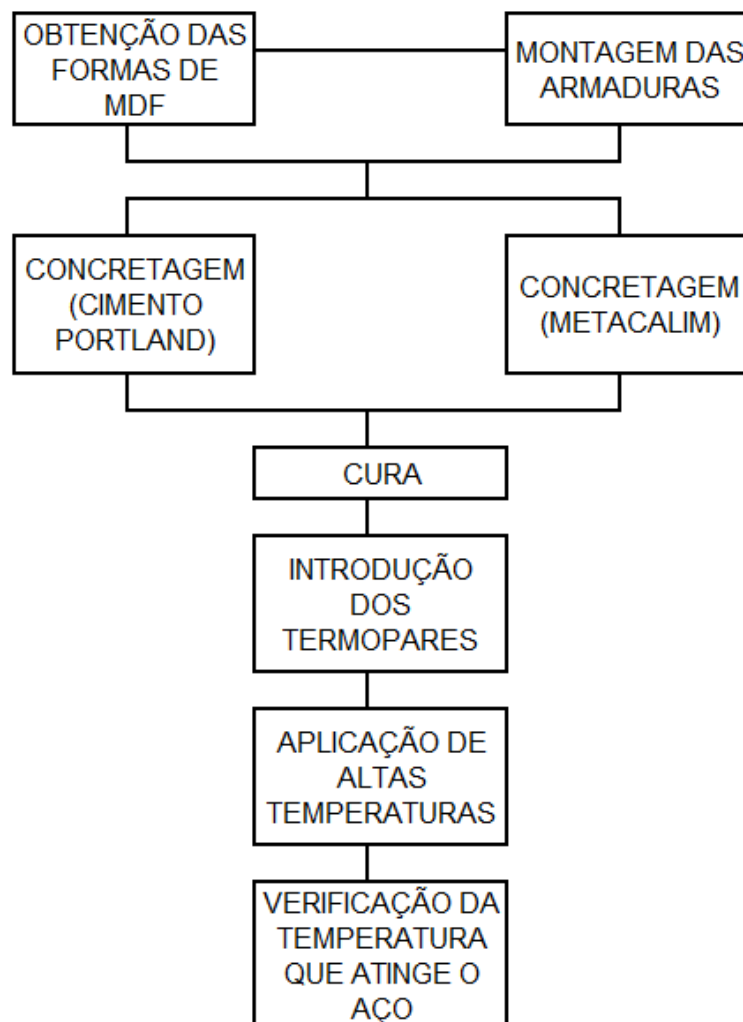
1.1.1 Objetivos Específicos

- Analisar o calor que atinge o aço em vigas de concreto armado, utilizando cimento Portland e também metacaulim como aglomerantes quando sujeitas à alta temperatura;
- Relacionar os resultados obtidos em ambas as estruturas;

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para este trabalho foram confeccionadas seis vigas, sendo três de concreto geopolimérico, e três de concreto com cimento Portland, ambos em corpos de prova prismáticos com dimensões de 10x10x35 cm (largura x altura x profundidade). A parte experimental do trabalho foi desenvolvida de acordo com o fluxograma da figura 1:

Figura 1: Fluxograma das atividades desenvolvidas



Fonte: Autor, 2016.

Os traços utilizados no experimento estão apresentados nas tabelas 1 e 2. O geopolímero que utiliza metacaulim como aglomerante foi produzido no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), localizado no Iparque, da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC).

Tabela 1: Traço utilizado na mistura geopolimérica.

Material	Quantidade (g)
Metacaulim	1
Silicato de sódio	1,2
Hidróxido de sódio	0,09
Areia	3,8
Pedrisco	1,2
Relação a/agl	0,75

Fonte: Autor, 2016.

O traço que utiliza o cimento Portland como aglomerante foi concretado em obra, com material adquirido de empresa especializada. A composição da mistura está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Traço utilizado na mistura com cimento Portland.

Material	Quantidade
Cimento Portland	1
Brita	2,95
Areia	2,9
Água	0,65
Relação a/c	0,65

Fonte: Autor, 2016.

Na composição do concreto geopolimérico, foi utilizado metacaulim fornecido pela empresa *Metacaulim do Brasil*, hidróxido de sódio da marca *Química Moderna* e silicato de sódio C-325 (BFC70), fornecido pela empresa *Manchester Química S.A.*, utilizado para a ativação alcalina. A areia seca em estufa, peneirada e padronizada, com diâmetro máximo característico do agregado ($D_{m\acute{a}x}$) de 2,40mm e brita nº 0 com $D_{m\acute{a}x}=9,5\text{mm}$, disponibilizados pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da UNESC.

A Figura 2 apresenta os corpos de prova de concreto geopolimérico após a concretagem.

Figura 2: Corpos de prova de concreto geopolimérico



Fonte: Autor, 2016.

O concreto convencional (Figura 3) foi obtido de empresa especializada, com as mesmas características de materiais utilizados em obras, pois este trabalho busca retratar ao máximo a realidade de uma estrutura como ela se apresenta nas condições de uso.

Figura 3: Corpos de prova de concreto convencional



Fonte: Autor, 2016.

As armaduras utilizadas nas vigas foram fabricadas com aço CA60, com diâmetro de 5 mm (Figura 4). O cobrimento adotado foi de 2,5cm.

Figura 4: Armadura



Fonte: Autor, 2016.

Após a concretagem, os corpos de prova foram armazenados em local protegido de intempéries, com temperatura ambiente, conforme descrito na NBR 5738 (2003).

Porém processo de cura do geopolímero é diferente do método convencional. Segundo Brigido (2016, pg. 5 e 6) “o geopolímero é um compósito que não leva água em sua composição, pois a ativação alcalina não depende da hidratação da matriz de silicato de cálcio, podendo então ser curado ao ar livre, sem riscos de retração por secagem.”

Os primeiros ensaios foram realizados no forno mufla Servitech de pequeno porte, modelo CT 095, com controle digital de temperatura e capacidade de aquecimento de até 1000°C e dimensões internas de 500x470x500mm, no laboratório de Cerâmica, localizado também no Iparque (UNESC). A obtenção da temperatura no interior dos corpos de prova foi possível através da utilização de termopares tipo K (figura 5), que foram introduzido através de furos feitos previamente possibilitando o contato dos termopares com as armaduras. Este equipamento (Termopar, K) captura a temperatura apenas na extremidade da ponta da haste e transmite as informações para um computador através do aparelho Data Logger. Para vedação dos furos foi utilizado gesso da marca Juntalider.

Os corpos de prova foram desmoldados e submetidos ao ensaio após 28 dias de cura. Os mesmos foram colocados no forno em posição horizontal, sempre aos

pares, uma amostra em concreto geopolimérico e uma amostra em concreto com cimento Portland (conforme figura 5). Esta disposição das amostras garantiu que todos os corpos de prova estivessem a uma mesma distância das resistências do forno, garantindo uma uniformidade no aquecimento de todos eles.

Figura 5: Corpos de prova com termopares dentro do forno



Fonte: Autor, 2016.

O forno foi aquecido até a temperatura de 800°C, com uma taxa de aquecimento média de 12,80°C/minuto. Como a temperatura inicial do forno ficava em torno de 32°C, isso significa dizer que atingia-se a temperatura de 800°C no interior do forno no intervalo de uma hora. A temperatura de 800°C foi mantida durante o tempo de 30 minutos. Através das temperaturas obtidas neste processo é que obtivemos os resultados da pesquisa.

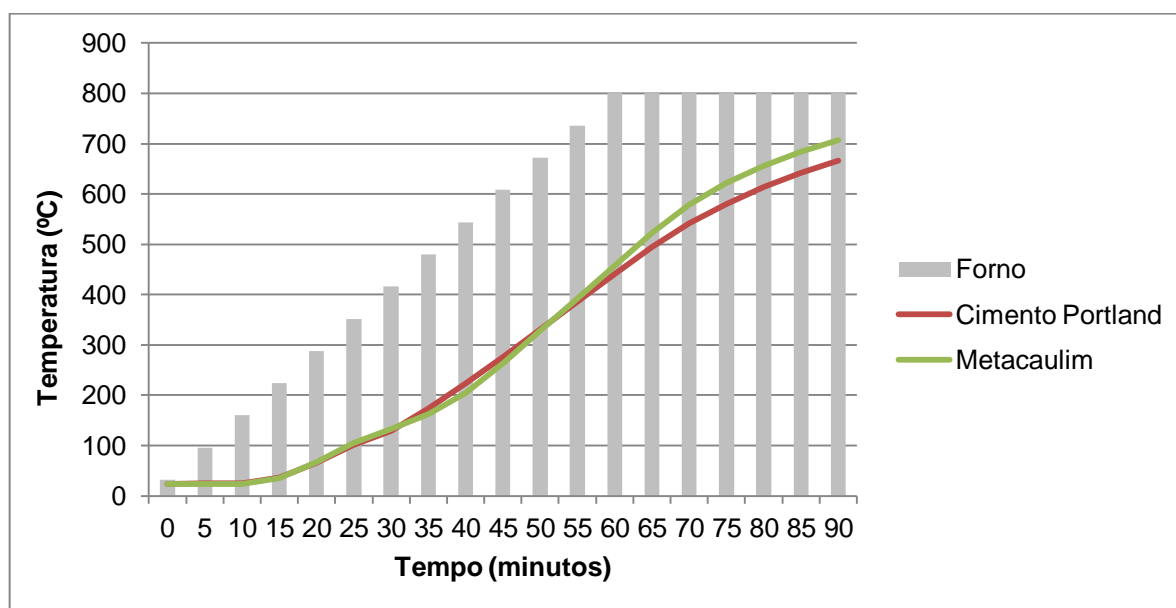
Para projetos de elementos construtivos em situação de incêndio, é recomendado pela ABNT NBR 14432 (2001) o uso da curva de incêndio padrão da ISO 834 para descrever a elevação padronizada da temperatura em função do tempo. Porém neste caso, a taxa de aquecimento aplicada foi determinada de acordo com as condições do equipamento utilizado.

Para análise e discussão dos resultados foram consideradas apenas as medições obtidas nos termopares internos (mais distantes das resistências do forno) de cada corpo de prova. Desta forma garante-se temperaturas externas mais uniformes nos pontos de medição.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o termino dos experimentos pode-se observar que no início do aquecimento do forno, ambos os materiais – geopolímero e concreto convencional – apresentaram o mesmo desempenho. O geopolímero passou a apresentar resultados ligeiramente melhores quando o forno encontrava-se com temperaturas entre 410°C e 670°C. A partir desta faixa de temperatura, o concreto convencional foi quem apresentou melhores resultados. O desempenho das estruturas pode ser observado o gráfico da Figura 6 que relaciona a temperatura das armaduras com a temperatura do forno e o tempo de exposição ao calor.

Figura 6: Gráfico comparativo de temperatura nas armaduras em concreto geopolimérico e em concreto com cimento Portland.



Fonte: Autor, 2016.

A partir dos resultados, observa-se ainda, que ambos os materiais protegem a armadura em mais de 300°C em alguns pontos do gráfico. O ponto máximo de bloqueio do concreto convencional é quando o forno já se encontra em 800 (t=60minutos), onde a armadura apresenta uma temperatura de apenas 442°C. Já o ponto máximo do geopolímero é aos 608°C do forno (t=45 minutos), onde a armadura apresenta a temperatura de 263°C.

Os pontos mais críticos são observados após a estabilização da temperatura do forno em 800°C, onde a temperatura das armaduras de ambas as estruturas continua aumentando e a diferença beira os 100°C em ambos os casos.

4. CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho percebeu-se que o concreto convencional apresentou resultados ligeiramente melhores do que o geopolímeros em relação à proteção da armadura do calor. Ainda assim, ambos os materiais apresentaram resultados muito próximos, o que não descarta o potencial do geopolímero para aplicação em obras submetidas à altas temperaturas.

Relacionando o trabalho experimental com a bibliografia pesquisada, fica claro que a utilização do geopolímero é a alternativa mais benéfica, pois além dos bons resultados experimentais este ainda possui a imensurável vantagem de causar menos danos ao meio ambiente no seu processo de fabricação.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Repetir o experimento utilizando a curva padrão de incêndio;
- Repetir o experimento utilizando aditivos;
- Repetir o experimento aumentando o tempo de exposição após a estabilização da temperatura;
- Comparar as propriedades mecânicas do geopolímero antes e depois da exposição à altas temperaturas;

5. REFERÊNCIAS

ALLEM, P. M. **Estudos de concreto geopolimerico com uso de fibras de aço**. 2016. 68pg. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR 12653**: Materiais pozzolânicos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. **NBR 15200**: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

BORGES, P. H. R.; LOURENÇO, T. M. F.; FOUREAUX, A. F. S.; PACHECO, L. S. **Estudo comparativo da análise de ciclo de vida de concretos geopoliméricos e de concretos à base de cimento Portland composto (CP II)**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 153-168, abr./jun. 2014. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

DAVIDOVITS, Joseph. **Geopolymer Chemistry and Applications**. 2.ed. França: Institut Géopolymère, 2015. 623 p.

FERNANDES, M. A. **Análise de propriedades mecânicas residuais em concreto convencional e concreto geopolimérico submetidos à altas temperaturas**. 2015. 19. Artigo (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

BRIGIDO, J. S. **Estudo do efeito da macrofibra de polietileno e microfibra de polipropileno nas propriedades mecânicas do concreto geopolimérico**. 2016. 19. Artigo (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

MEDINA, E. A. **Pozolanicidade do metacaulim em sistemas binários com cimento portland e hidróxido de cálcio**. 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

RABELO, N. M. A.; GARCIA, C. R. **Comportamento do concreto mediante a adição de pozolana artificial**. e-xacta, Belo Horizonte, v.6, n.1, pg. 55-66. (2013).